

## INFLUENCIA DE LOS CAMBIOS DE COBERTURA SOBRE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD DEL SUELO EN LA SUBCUENCA RÍO PUXCATÁN, TACOTALPA, TABASCO.

Leydi Rubí Cupil Reyes<sup>1</sup>, Leticia Rodríguez Ocaña<sup>2</sup>, Rodimiro Ramos Reyes<sup>3</sup>, Armando Avalos Jiménez<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Leydi Rubí Cupil Reyes, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT), División Académica de Ciencias Económico, Administrativas. Zona de la Cultura Av. Universidad S/N Zona de la Cultura (DACEA, Centro C.P. 86280 Villahermosa, Tabasco, México. rubi91404@gmail.com, ORCID: 0009-0001-2954-8868

<sup>2</sup>Leticia Rodríguez Ocaña, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT), División Académica de Ciencias Económico, Administrativas. Zona de la Cultura Av. Universidad S/N Zona de la Cultura (DACEA, Centro C.P. 86280 Villahermosa, Tabasco, México. leticia.rodriguez@ujat.mx, ORCID: 0000-0003-0491-2886

<sup>3</sup>Rodimiro Ramos Reyes, El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), Unidad Villahermosa. Carretera a Reforma km 15.5 s/n. Ra. Guineo 2da. Sección, Centro. C. P. 86280 Villahermosa, Tabasco, México. rramos@ecosur.mx, ORCID: 0000-0003-3957-8160

<sup>4</sup>Armando Avalos Jiménez, Autor de correspondencia (armando.avalos@guest.ecosur.mx), El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), Unidad Villahermosa. Carretera a Reforma km 15.5 s/n. Ra. Guineo 2da. Sección, Centro. C. P. 86280 Villahermosa, Tabasco, México. armando.avalos@guest.ecosur.mx, ORCID: 0000-0002-0192-813X.

### RESUMEN

Los cambios de cobertura y uso de suelo ocasionados por las actividades antropogénicas han sido reconocidos como los principales factores que causan impactos negativos sobre los ecosistemas, por lo que el objetivo de la presente investigación fue evaluar la influencia de los cambios de cobertura sobre los parámetros de calidad del suelo en la subcuenca río Puxcatán, Tacotalpa, Tabasco. La metodología se realizó en cuatro etapas: primero se llevó a cabo la delimitación del área de estudio con la finalidad de ubicar todas las localidades cercanas a la subcuenca del río Puxcatán; se programaron visitas de campo a las principales localidades para la recolección y posterior análisis de muestras de suelo en laboratorio; por otro lado, se llevó a cabo el análisis de cambios de cobertura y usos de suelo a través de herramientas de teledetección para la fotointerpretación de imágenes de satélite tipo Landsat; finalmente, se realizaron entrevistas no estructuradas a los pobladores con la finalidad de conocer los hábitos de consumo y sistema de producción agropecuarios y vincular la influencia de los cambios de usos de suelo por efecto de las actividades productivas sobre los parámetros de calidad del suelo. Se obtuvieron seis parámetros clave que indican la calidad del suelo: Potencial de Hidrogeno (pH), Conductividad Eléctrica (CE), contenido de Materia Orgánica (MO), Textura (TX), Nitrógeno total (Ntot) y Fósforo (P) para 9 puntos de interés, estas variables se eligieron por ser las más susceptibles a cambiar a corto plazo en los asentamientos y zona de

Fundación Tecnológica Autónoma del Pacífico.

ISSN: 2539-2255 (En Línea).

Cali - Colombia.



Esta obra está bajo una licencia Creative Commons  
Atribución - No Comercial - Sin Derivadas 4.0 Internacional.

Medio de difusión y divulgación de investigación de la Fundación Tecnológica Autónoma del Pacífico.

influencia aledaña a la cuenca del río Puxcatán, las muestras fueron seleccionadas en función de las actividades productivas y los diferentes ecosistemas presentes en la zona. En conclusión, la conversión de cobertura de selva en pastizales o áreas de cultivos altera el pH del suelo, haciéndolo más ácido debido a la pérdida de materia orgánica que actúa como amortiguador. Aunque los suelos de pastizales y cultivos son generalmente más aptos para la agricultura con pH neutro, la deforestación y las prácticas intensivas pueden aumentar la acidez con el tiempo. Estos resultados pretenden contribuir a entender los procesos actuales de degradación ambiental, además de proporcionar información que permitirá diseñar políticas públicas más efectivas, orientadas al uso sostenible del suelo, la conservación de recursos naturales y la mitigación de impactos ambientales en localidades de Tacotalpa, Tabasco.

**Palabras claves:** *actividades antropogénicas; cambios de uso de suelo; parámetros fisicoquímicos.*

## **ABSTRACT**

Land use changes caused by anthropogenic activities have been recognized as the main factors that cause negative impacts on ecosystems, so the objective of this research was to evaluate the influence of changes in land cover on soil quality parameters in the Puxcatán River sub-basin, Tacotalpa, Tabasco. The methodology was developed in four stages: first, the delimitation of the study area was carried out in order to locate all the localities near the Puxcatán River sub-basin; field visits were scheduled to the main localities for the collection and subsequent analysis of soil samples in the laboratory; on the other hand, the analysis of changes in land use was carried out through remote sensing tools for the photointerpretation of Landsat-type satellite images; finally, unstructured interviews were conducted with the residents in order to learn about consumption habits and agricultural production systems and to link the influence of changes in land use due to the effect of productive activities on soil quality parameters. Six key parameters that indicate soil quality were obtained: Hydrogen Potential (pH), Electrical Conductivity (EC), Organic Matter (OM) content, Texture (TX), Total Nitrogen (N<sub>tot</sub>) and Phosphorus (P) for 9 points of interest. These variables were chosen because they are the most susceptible to short-term change in the settlements and area of influence surrounding the Puxcatán River basin. The samples were selected based on the productive activities and the different ecosystems present in the area. In conclusion, the conversion of forest cover into grasslands or crop areas alters the soil pH, making it more acidic due to the loss of organic matter that acts as a buffer. Although grassland and crop soils are generally more suitable for agriculture with neutral pH, deforestation and intensive practices can increase acidity over time. These results aim to contribute to understanding the current processes of environmental degradation, in addition to providing information that will allow the design of more effective public policies, aimed at sustainable land use, the conservation of natural resources and the mitigation of environmental impacts in localities of Tacotalpa, Tabasco.

**Keywords:** *anthropogenic Activities; changes in land use; physicochemical parameters.*

## **INTRODUCCIÓN**

Los cambios de cobertura y usos de suelo y la transformación de la cubierta vegetal debido principalmente a la expansión de actividades humanas generan graves impactos en la biodiversidad, los servicios ecosistémicos y el equilibrio climático a nivel regional (Duarte et al. 2006). Estas transformaciones no solo afectan los ecosistemas, sino que también contribuyen significativamente a los procesos de cambio climático (García 2007). Como señala Foley et al. (2005), este fenómeno es un problema ambiental local con implicaciones globales, que requiere atención urgente debido

a sus múltiples efectos negativos. El uso intensivo del suelo por actividades económicas como la agricultura, la ganadería y las plantaciones forestales ha incrementado significativamente (Ipinza et al. 2021), acompañado del uso masivo de insumos químicos como plaguicidas y fertilizantes (Zamora et al. 2017). Este modelo de explotación intensiva ha provocado una rápida transformación del paisaje natural, siendo uno de los principales factores que contribuyen a la pérdida de biodiversidad (Montes y Sala 2007) y a la degradación de los servicios ecosistémicos esenciales para la vida humana y natural entre los que se encuentra el suelo (Bai et al. 2008).

La degradación del suelo es un fenómeno complejo que no puede ser evaluado con una sola medición (Ingaramo 2003). Por ello, es fundamental utilizar indicadores específicos que permitan medir y monitorizar la degradación de manera precisa (Lal 2001). Estos indicadores pueden ser variables que muestren que la degradación ha tenido lugar o que está ocurriendo en la actualidad, permitiendo una mejor comprensión de sus dinámicas y efectos. Esto se vuelve esencial para formular respuestas adecuadas a nivel local y global (Quiroga 2007). Las actividades antropogénicas, como la deforestación (Houghton 2003), la expansión de áreas agrícolas (de cultivo), la ganadería y el uso masivo de productos químicos, tienen un impacto directo sobre los parámetros clave del suelo (Molina 2019), tales como el pH, la materia orgánica, la salinidad y los nutrientes, mientras que por otro lado, la conversión de ecosistemas naturales, como selvas y bosques, en tierras agrícolas o ganaderas altera la estructura y la composición de los suelos (Ramos y Orth 2007), afectando su capacidad para mantener la fertilidad y la biodiversidad por lo que los estudios sobre los cambios en la cobertura y uso de suelo son fundamentales para comprender los niveles actuales de pérdida de recursos naturales y prever escenarios futuros (Arango 2021). Este tipo de análisis no solo ayuda a medir la magnitud de los impactos, sino que también orienta la formulación de políticas públicas para mitigar la degradación ambiental (Postigo 2013), promover el uso sostenible del territorio (Franciscovic et al. 2016) y mejorar la planeación territorial (Paegelow et al. 2003).

La transformación del uso del suelo no solo genera pérdida de hábitats (Otavo y Echeverría 2017), sino que también altera los ciclos del agua (Correa 2020), el carbono y los nutrientes (Martínez 2008), exacerbando problemas como la desertificación y la deforestación (Sala et al. 2000). Según Van Lynden et al. (1997), el estudio de estos procesos dinámicos es crucial, ya que proporciona información sobre las tendencias de degradación y permite evaluar los impactos ambientales de manera más precisa. Además, la creciente demanda de recursos, como alimentos, fibras, agua y energía, está intensificando estas transformaciones, generando cambios profundos en los ecosistemas y alterando significativamente los paisajes forestales, agrícolas y urbanos (De la Fuente et al. 2008).

En este sentido, la evaluación y conservación de la calidad del suelo es esencial para garantizar la sostenibilidad de los ecosistemas y la producción agrícola (Burbano 2017). Las actividades humanas, como la expansión agrícola, la ganadería intensiva y el uso de productos químicos, tienen un impacto directo sobre la calidad del suelo, lo que subraya la necesidad de implementar prácticas agroecológicas (Foley et al. 2011) y estrategias de manejo sostenible (Scherr y Hazell 2003). La adopción de estas prácticas no solo ayuda a mitigar los efectos negativos de la degradación del suelo (Pimentel et al. 1995), sino que también contribuye a la preservación de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos, asegurando un uso más responsable de los recursos naturales (Mieles-Giler et al. 2024).

En este contexto, el objetivo de esta investigación es evaluar la influencia de las actividades antropogénicas sobre los cambios de uso de suelo en la subcuenca del río Puxcatán, ubicada en el municipio de Tacotalpa, Tabasco. Para abordar esta problemática, se empleó un enfoque interdisciplinario que combina herramientas de teledetección para la identificación de los cambios en las coberturas y usos de suelo mediante algoritmos de clasificación supervisada de imágenes satelitales, análisis físicos químicos de suelos y métodos cualitativos basados en encuestas. Esta metodología permitió vincular los cambios observados en el uso del suelo con sus impactos ambientales, ofreciendo una base sólida para la planeación territorial y el desarrollo de políticas públicas. Además, se aplicaron encuestas descriptivas para documentar los usos y costumbres de la población local, proporcionando una perspectiva integral sobre los factores sociales, económicos y

ambientales que influyen en estos procesos. Los resultados de este estudio pretenden contribuir a entender los procesos actuales de degradación ambiental, además de proporcionar información clave para las instituciones encargadas de ordenar y planificar el territorio. Este conocimiento permitirá diseñar políticas públicas más efectivas, orientadas al uso sostenible del suelo, la conservación de recursos naturales y la mitigación de impactos ambientales en localidades como Tacotalpa, Tabasco.

## METODOLOGÍA

### Área de estudio

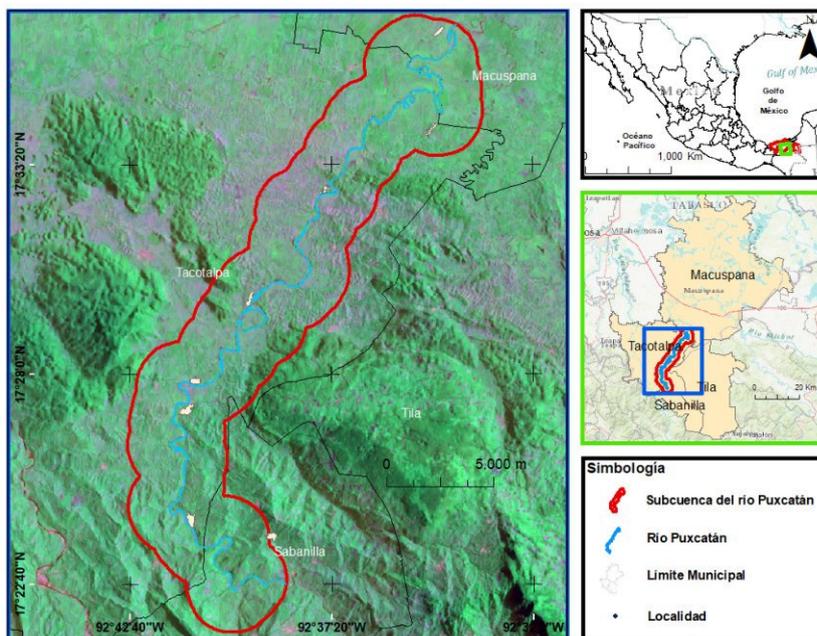
El área de estudio forma parte del territorio del municipio de Tacotalpa, Tabasco. México, y se delimitó específicamente por la subcuenca del río Puxcatán y las localidades aledañas, contemplando; Limón, Castañal, Guayal, Pasamanos, Pomoca, Agua blanca, Puxcatán, Raya Zaragoza y Francisco I. Madero 2da. La subcuenca se encuentra ubicada en la región hidrológica 30 (RH30), abarcando parte del estado de Tabasco, una parte del estado de Chiapas y una porción del estado de Campeche el municipio de Tacotalpa se encuentra en la región hidrológica Grijalva-Usumacinta (RDH30) dentro de la cuenca del Grijalva-Villahermosa (la más extensa del estado, 41% de la superficie global en la subcuenca río de la Sierra). A su vez, esta cuenca se encuentra conformada por 25 subcuencas, entre las que se encuentra la RH30Dn, la cual es el objeto de estudio. La cuenca RH30Dn es también dominada río Puxcatán

por ese el nombre de la corriente principal de esta subcuenca.

La figura 1 muestra la delimitación geográfica de la subcuenca RH30Dn, tiene una superficie de 674.35 km<sup>2</sup> y abarca cuatro municipios del Estado de Chiapas y dos del Estado de Tabasco. El río Puxcatán se forma en la sierra madre de Chiapas y finalmente converge con el Río Grijalva en el sistema lacustre que se encuentra kilómetros aguas abajo del punto de interés de la investigación.

El municipio de Tacotalpa se localiza en la región de la sierra del estado de Tabasco y tiene como cabecera municipal a la ciudad de Tacotalpa, la que se ubicada al sur del estado, entre los paralelos 17°35'05" de latitud norte y 92°49'06" de longitud oeste. Colinda al norte con los municipios de Jalapa y Macuspana; al sur y al este con el estado de Chiapas; y al oeste con el municipio de Teapa.

**Figura 1.** Delimitación del área de estudio.



**Fuente:** elaboración propia con datos de INEGI, 2024. Mapa base: Landsat 7 (2023) combinación de bandas en color natural (4-3-2).

## Datos utilizados

La Tabla 1 describe las dos imágenes satelitales del tipo Sentinel empleadas en el análisis de cambio de

cobertura y usos de suelo, mismas que fueron obtenidas del sitio web oficial del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) (<http://glovis.usgs.gov>).

**Tabla 1.** Datos de información de las imágenes de satélite utilizadas

IMAGEN	DATOS RÁSTER	TIPO	ORGANISMO	FECHA	RESOLUCIÓN
2006	LE07_L2SP_022048_20060222_20200914_02_T1	LANDSAT 7	USGS	22 de febrero del 2006	30 m
2023	LE07_L2SP_021048_20230510_20230605_02_T1	LANDSAT 7	USGS	10 de mayo del 2023	30 m

**Fuente:** elaboración propia

## MÉTODOS

La metodología se realizó en cuatro etapas que se describen a continuación:

### Identificación del área de estudio

La identificación del área de estudio se realizó utilizando sistemas de información geográfica con la finalidad de ubicar las principales localidades cercanas a la subcuenca del río Puxcatán como área geográfica fundamental para llevar a cabo un análisis detallado sobre el uso del suelo y los posibles impactos de las actividades humanas en el entorno natural.

### Determinación de parámetros fisicoquímicos del suelo

Se programaron visitas de campo a las principales localidades aledañas al río Puxcatán, en Tacotalpa, Tabasco, con la finalidad de conocer los hábitos de consumo y sistema de producción agropecuarios, así como para la recolección y posterior análisis de

muestras de suelo en laboratorio; y vincular el grado de influencia de dichas actividades.

El análisis de los parámetros físicos químicos se realizó tal como se describe a continuación:

### Recolección de muestras

La recolección de las muestras de suelo se realizó durante la época seca, entre los meses de mayo y abril del año 2018, en las principales localidades situadas a diferentes distancias al río Puxcatán que variaban entre 40 m y 850 m. En cada sitio de muestreo se recolectó una muestra compuesta, formada por cuatro submuestras, a una profundidad de 0-20 cm. Las submuestras fueron colocadas en una bolsa de polietileno y trasladadas al laboratorio, donde se dejaron secar durante 15 días en charolas. Posteriormente, los terrones de suelo fueron triturados y pulverizados utilizando un marro de goma, el material resultante se tamizó a través de mallas de 0.5 mm y 2.0 mm y luego se almacenó en frascos PET de 1 litro. En la Tabla 2 se describe los puntos de muestreos y las localidades.

**Tabla 2.** Relación de los puntos de muestreos

MUESTRA	LOCALIDAD	COORDENADA UTM		DISTANCIA AL RÍO
		X	Y	
S-1	Castañal	541,915.00	1,943,210.00	30 m
S-2	Pasamonos	539,506.00	1,939,536.00	1 m
S-3	Puxcatán	532,729.00	1,929,714.00	50 m

MUESTRA	LOCALIDAD	COORDENADA UTM		DISTANCIA AL RÍO
		X	Y	
S-4	Pasamonos	539,620.00	1,939,457.00	80 m
S-5	Limón	544,132.00	1,944,414.00	87 m
S-6	Limón	544,160.00	1,944,569.00	25 m
S-7	Salida Pomoca	536,736.00	1,935,196.00	30 m
S-8	Pomoca	536,116.00	1,934,347.00	98 m
S-9	Raya Zaragoza	533,018.00	1,925,414.00	1 m
S-10	Entrada Pomoca	535,464.00	1,933,923.00	340 m
S-11	Agua Blanca	539,899.00	1,933,134.00	1,800 m
S-12	Pasamonos	539,910.00	1,940,003.00	142 m
S-13	Madero 2da	533,058.00	1,923,288.00	708 m
S-14	Guayal	541,271.00	1,940,582.00	555 m
S-15	Guayal	541,280.00	1,940,606.00	556 m

**Fuente:** elaboración propia

### Métodos de análisis físicos químicos

Los métodos de análisis empleados siguieron los procedimientos estándar establecidos por la Sociedad Americana de la Ciencia del Suelo (Sparks, 1996) y la norma oficial mexicana para suelos no volcánicos NOM-021-SEMARNAT-2000, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis.

Los métodos utilizados se describen en la Tabla 3 entre los que se tienen: la textura, el método de

Bouyoucos (1962); para el pH en H<sub>2</sub>O (relación 1:2), el método de Willard et al. (1974); para la materia orgánica (MO), el método Walkley y Black (1934); para la conductividad eléctrica, el método de Mass y Hoffman (1977); para el Nitrógeno total (N<sub>tot</sub>), el procedimiento de SEMARNAT (2000); y para el fósforo (P), el método de Olsen y Dean (1965). Estos parámetros proporcionan información valiosa sobre el estado actual del suelo y ayudan a tomar decisiones informadas en términos de manejo agrícola, conservación ambiental y sostenibilidad de los ecosistemas.

**Tabla 3.** Parámetros físicos químicos utilizados para determinar la calidad del suelo

NO.	CLAVE	PARÁMETRO	MÉTODO	DESCRIPCIÓN
1	pH	Potencial de hidrogeno en H <sub>2</sub> O	Willard et al. (1974)	El pH es una medida que indica el nivel de acidez o alcalinidad de una sustancia, especialmente en soluciones líquidas. Se expresa en una escala que va de 0 a 14, donde: pH 0-6.9: Indica un medio ácido. Cuanto más cercano a 0, más ácido es. pH 7: Es un medio neutro (por ejemplo, el agua pura). pH 7.1-14: Indica un medio alcalino o básico. Cuanto más cercano a 14, más alcalino es.

NO.	CLAVE	PARÁMETRO	MÉTODO	DESCRIPCIÓN
2	CE	Conductividad eléctrica del extracto de saturación	Mass y Hoffman (1997)	Indica la capacidad de un material o sustancia para conducir corriente eléctrica
3	MO	Materia orgánica	Walkley y Black (1934)	Es la proporción de material orgánico presente en un sistema, como el suelo o el agua. En su mayoría, está compuesto por carbono, hidrógeno, oxígeno, Nitrógeno y pequeñas cantidades de otros elementos.
4	TX	Textura	Bouyoucos (1962)	se refiere a la proporción relativa de las partículas minerales que lo componen, clasificadas según su tamaño en arena, limo y arcilla. La textura es una de las características más importantes del suelo, ya que afecta directamente sus propiedades físicas, químicas y biológicas.
5	Ntot	Nitrógeno total	NOM-021-SE-MARNAT-2000	Es un indicador clave de su capacidad para sostener procesos biológicos y ecológicos.
6	P	Fósforo	Olsen y Dean (1965)	Es un indicador clave de la disponibilidad de este elemento esencial para el crecimiento y desarrollo de las plantas y otros organismos.

**Fuente:** elaboración propia

### **Análisis de cambios de cobertura y usos del suelo 2006-2023**

El análisis de los cambios de uso de suelo se realizó utilizando herramientas de teledetección y sistemas de información geográfica (SIG). Se emplearon imágenes de satélite Sentinel de los años 2006 y 2023 para la fotointerpretación. La metodología incluyó la comparación de dos mapas de usos o cubiertas de suelo correspondientes a fechas diferentes, con el fin de evaluar los cambios ocurridos a lo largo del tiempo.

Para el análisis de las imágenes, se utilizó la clasificación supervisada, una técnica que requiere la intervención del analista para definir las clases de uso del suelo. Este proceso se llevó a cabo mediante la aplicación de dos algoritmos: el Semi-Automatic Classification Plugin (SCP) utilizando el algoritmo de Distancia Mínima y el Gaussian Mixture Model (GMM) incluidos en la herramienta Dzetzaka. Estos algoritmos consideran los parámetros de clasificación previamente calculados, permitiendo etiquetar cada píxel de la imagen en una de las clases definidas, lo que facilita la identificación y comparación de los diferentes tipos de uso de suelo en ambas fechas de estudio.

Además, se utilizó el software QGIS, una herramienta de SIG, para realizar la manipulación y análisis espacial de los datos obtenidos, facilitando

la visualización y comparación de los cambios de uso de suelo en el periodo de 2006 a 2023.

### **Descarga de imágenes**

Se accedió a los datos satelitales mediante la creación de un usuario y una contraseña en las plataformas de la base de datos libre de la Agencia Espacial Europea (ESA), la cual forma parte del programa de monitoreo y observación de la Tierra conocido como COPERNICUS que es un centro de acceso abierto que ofrece una amplia gama de productos y servicios relacionados con la observación satelital, incluyendo imágenes de alta resolución de la Tierra proporcionadas por los satélites del programa Sentinel.

Una vez con acceso a la plataforma, se consultaron y descargaron las regiones de interés (Patch ROI) que incluyera la zona perteneciente a la subcuenca del río Puxcatán para la evaluación de los cambios en el uso del suelo a lo largo de los años especificados.

### **Preprocesamiento de imágenes**

Para el procesamiento de las imágenes de satélite tipo Landsat se aplicaron un conjunto de técnicas y herramientas para mejorar su calidad, obtener información básica y prepararlas para su posterior procesado.

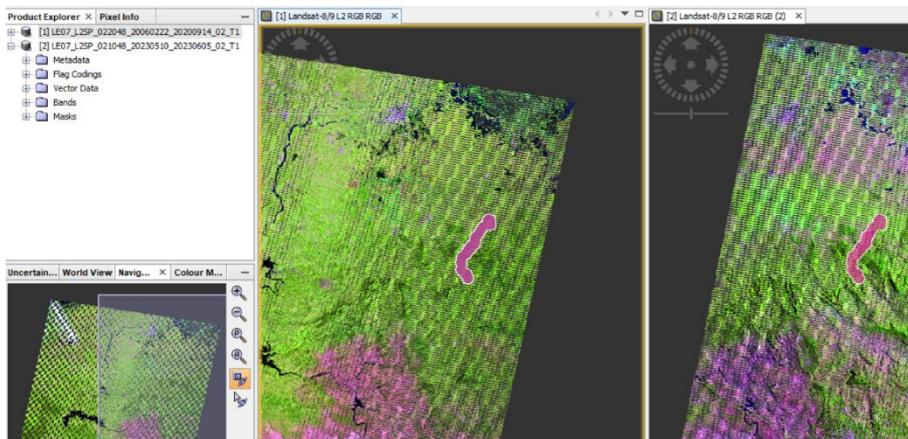
Algunos de los procesos realizados fueron los siguientes:

**Georreferenciación de la imagen:** El proceso consistió en asignar coordenadas geográficas a las imágenes satelitales para que se alinearan con el sistema de referencia espacial en coordenadas WGS84 UTM zona 15n. Este paso es esencial para asegurar que las imágenes se correspondan correctamente con

el área de estudio y puedan ser comparadas entre sí y con otros datos geoespaciales.

**Recorte del área de Interés:** Una vez georreferenciada la imagen, se realizó un recorte para enfocarse solo en el área de interés delimitada a partir de la subcuenca del río Puxcatán (Figura 2). Este paso elimina los píxeles fuera del área de estudio, reduciendo el tamaño de la imagen y facilitando los análisis posteriores.

**Figura 2.** Recorte del área de interés

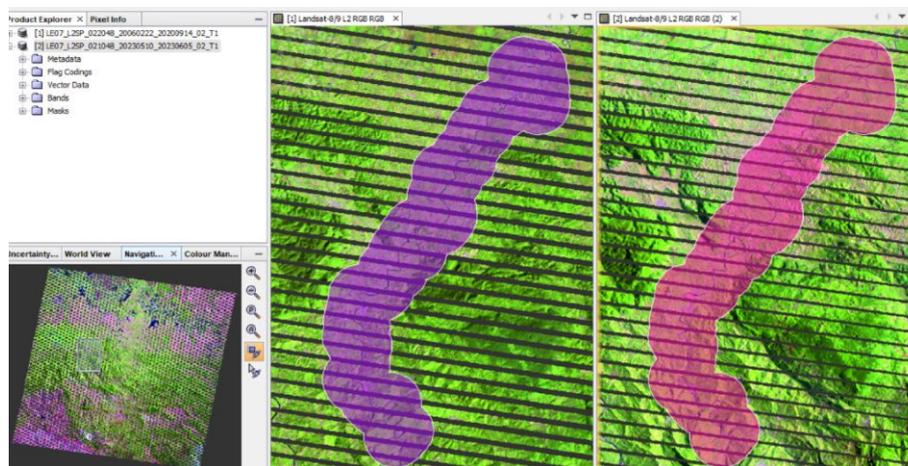


**Fuente:** elaboración propia

**Corrección de errores:** Para las imágenes satelitales Landsat 7, que presentan errores de SLC-off (falta de datos debido a un fallo en el escáner del satélite), se aplicó un llenado de huecos. Este proceso

busca corregir las áreas con falta de información en la imagen, mediante algoritmos que interpolan los datos faltantes, lo que mejora la calidad de la imagen y permite un análisis más preciso (Figura 3).

**Figura 3.** Corrección de errores de imagen Landsat 7.



**Fuente:** elaboración propia

Construcción de campos de entrenamiento: Finalmente, para realizar la clasificación supervisada de la imagen, se construyeron campos de entrenamiento (o Regiones de Interés - ROIs) que corresponden a áreas representativas de cada clase de cobertura del suelo. Estos campos de entrenamiento se utilizan para enseñar al algoritmo de clasificación cómo identificar diferentes tipos de cobertura en la imagen contemplando los asentamientos urbanos, cuerpos de agua, cultivos, pastizales y selva (vegetación arbórea).

### **Clasificación supervisada mediante algoritmo**

El procesamiento se realizó mediante una clasificación supervisada en Qgis usando el complemento SCP (Semi-Automatic Classification Plugin). Es una técnica de procesamiento de imágenes que permite la identificación de materiales en una imagen a partir de firmas espectrales.

La clasificación supervisada requiere que se ingrese regiones de interés (Rols) para cada clase de cobertura del suelo, estos son polígonos que se trazan sobre áreas homogéneas que se superponen a píxeles pertenecientes a la misma clase de la cobertura del suelo.

Una vez creados los ROI mediante áreas de entrenamiento se guardaron los polígonos y las firmas espectrales utilizadas para la clasificación de la cobertura del suelo de la imagen. La creación de los Rols fue manualmente y una vez ingresadas las áreas de entrenamiento, se eligió el algoritmo de distancia mínima ya que este nos da una mejor clasificación, además se definió un umbral, el cual me ayudo a mejorar los resultados, especialmente cuando las firmas tienen alguna similitud.

### **Validación de puntos de control**

La validación de la clasificación supervisada en Qgis se llevó a cabo utilizando el complemento de AcATaMa (Accuracy Assessment of Thematic Maps). Este complemento evalúa la precisión de la clasificación elaborada, particularmente para usos de suelo y cobertura de suelo.

Para realizar el grado de exactitud de la clasificación es necesario activar el complemento AcATaMa, se instala y configura la medición. En donde se inicia con Thematic se selecciona la clasificación, posterior la pestaña de Sampling y luego la pestaña de supuesto estratificado para colocar los valores

por categorías. Es decir, el número total por clases, por consiguiente, se guarda el archivo para poder correr la clasificación se agregaron las clases manualmente, además se identificaron los puntos de control para corroborar que la imagen clasificada correspondiera con la imagen espectral, así como otros mapas que ayuden a corroborarlos; en este caso se utilizó el Google Eart, la imagen ráster.

Por otro lado, se obtuvo la matriz de exactitud que ayudó a calcular la exactitud del usuario y la exactitud del productor para cada clase. Finalmente, se evaluó la concordancia y confiabilidad a partir de los datos centrales que se obtuvieron en la matriz de exactitud y fueron utilizados para los cálculos necesarios y evaluarlos con el modelo de Índice de Kappa.

Cohen (1960) formulo el cálculo para la obtención de la probabilidad en la concordancia entre dos codificadores. Dicha probabilidad es conocida como coeficiente Kappa de Cohen que se caracteriza con el símbolo  $k$ , que se define como un estadístico de concordancia entre dos investigadores que corrige el azar. Al ser una probabilidad, toma su valor en intervalo  $[0,1]$ . Donde se representa según la fórmula:

$$k = \frac{Po - Pc}{1 - Pc}$$

### **Ecuación 1**

Donde:  $Po$ : se define como la proporción de concordancia observa realmente y se calcula sumando las marcas que representan la concordancia y dividiendo por el número total de ellas; y,  $Pc$ : es la proporción esperada por azar y se calcula sumando las probabilidades de acuerdo por azar para cada categoría.

En Tabla 4 se muestra la clasificación amplia de la interpretación del índice Kappa establecida por Altman (1991) y que utilizada para valorar el valor obtenido.

**Tabla 4.** Valoración del Índice Kappa

VALOR DE K	FUERZA DE LA CONCORDANCIA
<0.20	Pobre
0,21-0,40	Débil
0,41-0,60	Moderada

VALOR DE K	FUERZA DE LA CONCORDANCIA
0,61-0,80	Buena
0,81.1,00	Muy buena

**Fuente:** Tomado de Altman, 1991.

### **Vínculo de los cambios de usos de suelo con los parámetros de calidad del suelo**

Con la finalidad de identificar la relación de los cambios en los usos del suelo debidos a las actividades antropogénicas alteran y/o modifican los parámetros fisicoquímicos del suelo se utilizó la matriz de relación causa y efecto como una herramienta útil para identificar, organizar y analizar las relaciones entre diversas variables, con este método se busca establecer cómo un factor o evento (causa) influye o afecta a otro factor o evento (efecto). Esta matriz permite visualizar de manera estructurada cómo ciertas actividades o condiciones impactan un sistema o conjunto de variables en un contexto específico (Béné y Friend 2003). Por lo que, a partir de las entrevistas realizadas con los habitantes de las diferentes localidades de la cuenca del río Puxcatán se buscaron los posibles factores que originan o influyen en el cambio o variación de otras variables, así como las variables que experimentan alguna alteración debido a la acción de las causas y finalmente la relación entre causa y efecto.

### **Influencia de los Actividades antropogénicas**

Se realizaron entrevistas descriptivas para las localidades Madero 2ª, Raya Zaragoza, Pasamonos, Pomoca, Castañal, Guayal y Puxcatán, se entrevistó a la población en general a mujeres y hombres, en total a 15 personas por localidad se llevó a cabo en cada una de las localidades cercanas a los puntos de muestreo. Las entrevistas se llevaron a cabo en las visitas de campo de igual manera en el proceso de recolección de muestras se aprovechaba las visitas para aprovechar ya que la distancia de un punto a otro no era cercana, no había facilidad de transporte público mantenían un horario no flexible, el objetivo fue conocer el grado de influencia de sus actividades productivas y sus hábitos de consumo sobre la producción agropecuaria y el uso del suelo.

## **RESULTADOS**

### **Parámetros de calidad del suelo**

El análisis de los parámetros fisicoquímicos del suelo en diferentes ecosistemas de Tacotalpa, Tabasco, se realizó con el fin de evaluar la calidad del suelo en áreas de pastizales y selvas. Los métodos utilizados se describieron en la Tabla 5, estos parámetros son esenciales para entender la fertilidad del suelo, su capacidad para sostener la vegetación y su impacto en la productividad agrícola y la biodiversidad natural.

**Tabla 5.** Parámetros fisicoquímicos de calidad del suelo obtenidos.

MUESTRA	LOCALIDAD	X	Y	PH	CE*	MO	AR-CILLA	ARE-NAS	LI-MOS	NTOT (PPM)	P (PPM)	USO DE SUELO
S-1	Castañal	541915.00	1943210.00	7.11	1012.00	2.77	33.00	23.72	43.28	0.09	79.14	Pastizal
S-2	Pasamonos	539506.00	1939536.00	7.38	645.50	1.50	27.00	47.72	25.28	0.02	31.02	Cultivos
S-3	Puxcatán	532729.00	1929714.00	6.08	785.10	4.16	28.28	37.72	34.00	0.13	188.77	Pastizal
S-4	Pasamonos	539620.00	1939457.00	7.42	784.80	2.08	28.28	27.72	44.00	0.12	22.99	Cultivos
S-5	Limón	544132.00	1944414.00	7.62	800.20	1.50	33.56	26.44	40.00	0.04	33.69	Pastizal
S-6	Limón	544160.00	1944569.00	7.68	925.90	0.58	25.56	39.72	34.72	0.08	25.67	Pastizal
S-7	Salida Pomoca	536736.00	1935196.00	6.82	248.10	0.75	48.28	25.72	26.00	0.13	22.99	Cultivos

MUES-TRA	LOCA-LIDAD	X	Y	PH	CE*	MO	AR-CILLA	ARE-NAS	LI-MOS	NTOT (PPM)	P (PPM)	USO DE SUELO
S-8	Pomoca	536116.00	1934347.00	6.45	436.70	1.04	39.56	25.72	34.72	0.02	22.99	Pastizal
S-9	Raya Zaragoza	533018.00	1925414.00	6.92	444.10	0.8	20.28	50.44	29.28	0.05	25.67	Cultivos
S-10	Entrada Pomoca	535464.00	1933923.00	5.7	1.57	6.93	19.24	57.32	23.44	0.03	127.27	Selva
S-11	Agua Blanca	539899.00	1933134.00	6.65	1.06	5.54	17.24	41.32	41.44	0.11	92.51	Selva
S-12	Pasamonos	539910.00	1940003.00	6.62	741.30	2.66	13.24	39.32	47.44	0.07	164.71	Cultivos
S-13	Madero 2da	533058.00	1923288.00	5.74	789.10	3.23	33.24	36.96	29.80	0.05	44.39	Cultivos
S-14	Guayal	541271.00	1940582.00	6.78	1.64	5.77	33.24	43.32	23.44	0.13	105.88	Selva
S-15	Guayal	541280.00	1940606.00	6.13	1.69	4.39	37.24	40.96	21.80	0.11	103.21	Selva

**Nota.** \* indica

	Alto
	Bajo

De la tabla se puede inferir que el pH del suelo indica que los suelos en la región son adecuados para la mayoría de las plantas. Las muestras con pH más bajo se encuentran en áreas de pastizales y cultivos como la muestra S-10 (pH 5.7), S-13 (pH 5.74), y S-15 (pH 6.13), lo que puede indicar suelos más ácidos, probablemente debido a la actividad agrícola intensiva. En contraste, los suelos en áreas de selva, como S-10, S-11, S-14, y S-15, tienden a mostrar un pH más cercano al neutro (6.5-7.68), lo cual favorece la retención de nutrientes y la actividad biológica.

Para el caso de la conductividad eléctrica (CE), los suelos en áreas de pastizales y cultivos como S-1 (CE 1012.00), S-3 (CE 785.10), y S-12 (CE 741.30) muestran valores más altos, lo que indica suelos con mayor concentración de sales, lo que podría afectar la absorción de agua y nutrientes por las plantas. Mientras que los suelos de selva (S-10, S-11, S-14, S-15) tienen valores de CE mucho más bajos (1.57 a 1.69), lo que sugiere suelos más saludables en términos de salinidad, favoreciendo la actividad biológica y el intercambio de nutrientes.

En cuestión de la materia orgánica es clave para la fertilidad del suelo y su capacidad para retener agua y nutrientes, se observa que los suelos de pastizales y cultivos presentan un menor contenido de materia orgánica, como S-5 (MO 1.50) y S-6 (MO 0.58), comparado con las áreas de selva, como S-10 (MO 6.93) y S-11 (MO 5.54). Esto sugiere que los suelos de pastizales y cultivos pueden estar empobrecidos en nutrientes y materia orgánica, lo que podría derivar en una menor capacidad de retención de nutrientes y agua.

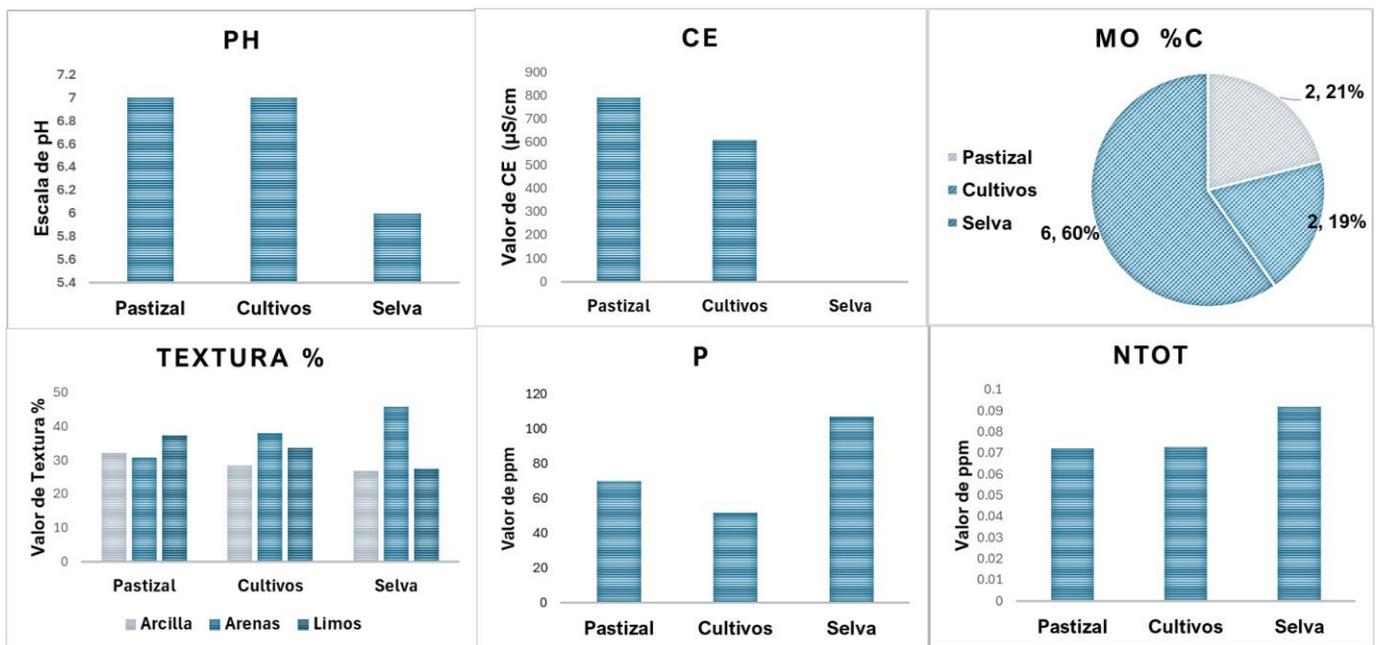
Para el parámetro de textura del suelo (proporción de arcilla, arenas y limos) afecta la capacidad de retención de agua y la aireación del suelo, se tiene que los suelos de pastizales y cultivos muestran una mayor proporción de arenas, como en la muestra S-5 (43.28 % limo, 33.56 % arcilla), lo que resulta en suelos más bien drenantes, pero con menor capacidad de retención de agua. Mientras que, en los suelos de selva, los porcentajes de arcilla son más elevados (ej. S-15 con 37.24 % arcilla), lo que permite una mejor retención de agua y mayor fertilidad natural.

Finalmente, para el caso del Nitrógeno total (Ntot) esencial para el crecimiento de las plantas, y las muestras de suelos en áreas de pastizales y cultivos como S-3 (0.13 ppm) y S-12 (0.07 ppm) muestran menores concentraciones, lo que puede limitar el crecimiento de las plantas si no se suplementan. Y para el fósforo (P), los niveles son más altos en áreas de cultivos como en S-2 (79.14 ppm) y S-9 (127.27 ppm), lo que sugiere que estos suelos podrían haber

sido fertilizados para promover el crecimiento agrícola. En las áreas de selva, los niveles de fósforo son más bajos (S-10: 79.14 ppm), lo que refleja un equilibrio natural.

Los valores de los parámetros obtenidos en función de las diferentes coberturas y usos de suelo se muestran en la Figura 4.

**Figura 4.** Parámetros físicos químicos obtenidos.



**Fuente:** elaboración propia

El Potencial de Hidrogeno (pH) es un parámetro importante que puede ser afectado por varios factores como el crecimiento de las plantas, reducción de la disponibilidad de nutrientes o minerales y la actividad de los microorganismos. En la gráfica se observan las variaciones de pH a través de las diferentes clases donde pastizales y cultivos tienen un pH de 7.0, esto indica que el suelo es neutro para estos ecosistemas, este valor es favorable para la mayoría de las plantas, desde el punto de vista de la acidez del suelo no hay una acción urgente, ya que indica un ambiente equilibrado y adecuado para el crecimiento de las plantas, pero si pudiese estar afectando la solubilidad de ciertos nutrientes.

La selva obtuvo un valor de 6.0 el suelo indica que es ligeramente ácido, lo cual es bastante común en ecosistemas de selva tropical, es por ello por

lo que se clasificó de esta manera ya que la selva se utilizó como referencia. Un pH de 6 es un valor óptimo para el crecimiento de las plantas, y refleja un ecosistema saludable con condiciones ideales para los nutrientes y el desarrollo de la vegetación típica de estos ambientes, aunque particularmente en la selva tropical suelen ser naturalmente más ácidos debido a la lluvia constante que lixiviana los nutrientes y los ácidos orgánicos producidos por la descomposición de la materia orgánica.

La Conductividad Eléctrica (CE) en pastizales dio un valor de 0.797 dS/m este valor está en condiciones adecuadas para el crecimiento de pastos, ya que la salinidad no parece estar limitando la absorción de agua ni afectando la productividad del pastizal, para los cultivos fue de 0.609 dS/m fue moderada a baja salinidad, similar al valor de los pastizales

indica que el suelo tiene una baja concentración de sales esto sugiere que el suelo es apto para la mayoría de los cultivos, ya que las sales no están interfiriendo significativamente con la absorción de agua y nutrientes. Este valor puede variar dependiendo los cultivos específicos algunos cultivos son más sensibles a la salinidad que otros, porque lo que es importante tener en cuenta las necesidades de cada especie. El valor para selva fue de 1.5 dS/m relativamente alta, pero sigue estando dentro de un rango aceptable para muchos suelos naturales, especialmente para las selvas tropicales. Aunque un valor mayor a 1.0 dS/m indica una salinidad moderada, en los ecosistemas de selva, las plantas están generalmente adaptadas a suelos ligeramente más salinos.

Los pastizales y cultivos muestran un bajo contenido de Materia Orgánica (MO) con tan solo el 2%, lo que indica suelos con baja capacidad de retención de nutrientes y agua. Estos suelos pueden necesitar prácticas de manejo como fertilización orgánica para mejorar su capacidad de nutrición.

El suelo de la selva tiene un contenido de materia orgánica mucho más alto (6%), lo que es característico de los suelos tropicales. Los suelos de la selva tienden a ser muy ricos en materia orgánica debido a la rápida descomposición de la vegetación y la intensa actividad biológica. El contenido de materia orgánica en la selva es considerablemente más alto que en los suelos de pastizal y cultivos, lo que explica la mayor fertilidad natural de estos suelos y su capacidad para sostener ecosistemas biodiversos.

La Textura (TX) de los suelos de pastizal tienen es mixta franco-arcillosa, con un equilibrio razonable entre arcilla, arena y limo, lo que permite una buena capacidad de drenaje sin perder demasiada retención de agua. Los cultivos son más franco-arcillosos, con un mayor porcentaje de limo (46%) y arcilla (38%), lo que proporciona una excelente retención de agua y nutrientes para los cultivos, aunque pueden ser más susceptibles a la compactación si no se manejan adecuadamente. La selva tiene una textura limosa (37% de limo), lo que sugiere que estos suelos tienen una buena capacidad de retención de agua sin una excesiva compactación, lo que favorece el crecimiento de la vegetación densa, la retención de humedad y la biodiversidad del ecosistema.

Los valores de Fósforo (P) en los pastizales y selva son bastante altos alrededor de 70 ppm. Lo que refleja su capacidad para soportar una alta

productividad biológica. En comparación los suelos de cultivos podrían necesitar suplementos de fósforo para asegurar un buen rendimiento agrícola.

Los valores de Nitrógeno Totales (Ntot) en pastizales (0.072 mg/kg) y cultivos (0.073 mg/kg) son bajos, lo que sugiere que los niveles de Nitrógeno en estos suelos son limitados. El Nitrógeno es un nutriente esencial para el crecimiento vegetativo, y su baja concentración en estos suelos podría ser una limitante para la producción agrícola y el desarrollo de pastos. El valor en la selva (0.092 mg/kg) es ligeramente más alto lo que sugiere que los suelos de la selva tienen una mayor disponibilidad de Nitrógeno, un factor importante para el crecimiento rápido de plantas en estos ecosistemas.

Los suelos de selva tienen mayores niveles de nitrógenos en comparación con los suelos de pastizal y cultivos, lo que favorece la vegetación natural de la selva. En los suelos agrícolas el contenido de Nitrógeno es más bajo, esto quiere decir que no tienen los suficientes nutrientes que necesita para el crecimiento de las plantas y podría ser necesario fertilizar para mejorar la producción de los cultivos, para poder comprender este factor fue necesario conocer los tipos de detergentes que utilizan, en este caso los análisis salieron bajo en los pastizales y esto podría influir en el crecimiento de plantas o cultivos.

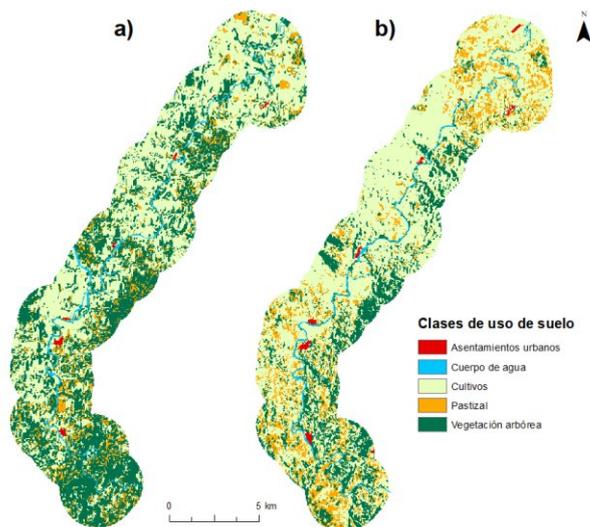
Al tomar la selva como punto de referencia, podemos concluir que los suelos de pastizales y cultivos tienen características más aptadas a las necesidades humanas de producción (pH neutro, menor conductividad eléctrica, menor materia orgánica), mientras que los suelos de selva están más enriquecidos en materia orgánica, fósforo y nitrógenos, lo que refleja su para soportar un ecosistema biodiverso y autóctono.

### ***Cambios de cobertura y usos del suelo***

Como resultado de la clasificación supervisada realizada con el complemento SCP (Semi-Automatic Classification Plugin) en QGIS, se obtuvo el mapa de usos del suelo de las imágenes Landsat de 2006 y 2023 que fueron procesadas. La clasificación asigna a cada píxel de la imagen a una clase determinada, basándose en las firmas espectrales obtenidas de las Regiones de Interés (ROIs) por lo que en la figura 6 se muestra dicho mapa que muestra la distribución espacial de cada una de las clases de asentamientos

urbanos, cuerpo de agua, cultivos, pastizales y selva de la subcuenca (Figura 5).

**Figura 5.** Clasificación de las coberturas y usos de suelo. a) año 2006; b) año 2023.



**Fuente:** elaboración propia

### Matriz de Confusión

La matriz de tabulación cruzada mostrada en la Tabla 6 proporciona una visión clara de cómo las diferentes clases de uso del suelo de la subcuenca del río Puxcatán han cambiado entre 2006 y 2023, con cultivos y pastizales que van en aumento, mientras que los cuerpos de agua y la selva han mostrado cambios, pero en general, siguen siendo representativos de la región.

La matriz de tabulación cruzada muestra la distribución de áreas donde la diagonal de la matriz indica las clases de uso de suelo que continúan estable donde 51 hectáreas que se tenían en el año 2006, siguen siendo Asentamientos en el 2023; por otro lado 293 hectáreas de Cuerpo de agua sugieren que no han tenido cambios significativos; 5,581

hectáreas de Cultivos siguen siendo Cultivos en 2023; 197 hectáreas de Pastizales y finalmente 1,704 hectáreas de selva que se tenían en el año 2006 no han cambiado para el 2023.

Por su parte cada fila representa una clase de uso del suelo en 2023, en la que se puede identificar que para los cuerpos de agua particularmente han aportado apenas 4 hectáreas para cultivos en el año 2023. Los cultivos por su parte han tenido intercambios de superficie entre selva y pastizales. Finalmente, cada columna indica cómo las áreas de uso del suelo en 2006 han tenido transiciones entre las diferentes clases para el año 2023 donde particularmente se observa que 1278 hectáreas de cultivos pasaron a ser pastizales, así como 3428 hectáreas de selva paso a ser cultivos en el año 2023.

**Tabla 6.** Matriz de tabulación cruzada, pérdidas, ganancias y transiciones.

Clase	ASENTAMIENTOS	CUERPO DE AGUA	CULTIVOS	PASTIZALES	SELVA	TOTAL, 2023	CAMBIO NETO	GANANCIAS	PÉRDIDAS	CAMBIO TOTAL	INTERCAMBIOS
Asentamientos	51	0	32	4	3	90	38	38	0	38	38

Clase	ASENTAMIENTOS	CUERPO DE AGUA	CULTIVOS	PASTIZALES	SELVA	TOTAL, 2023	CAMBIO NETO	GANANCIAS	PÉRDIDAS	CAMBIO TOTAL	INTERCAMBIOS
Cuerpo de agua	0	293	4	1	1	299	42	6	48	54	12
Cultivos	0	34	5,581	726	3,428	9,769	2,018	4,188	2,170	6,358	4,341
Pastizales	0	2	1,278	197	1,001	2,477	996	2,281	1,285	3,565	2,569
Selva	0	12	856	554	1,704	3,127	3,010	1,423	4,433	5,856	2,846
Total, 2006	52	341	7,751	1,481	6,137	15,762		7,936	7,936		

De acuerdo con la tabla anterior, se puede inferir que el uso de asentamientos aumentó 38 hectáreas en asentamientos, sin pérdidas, lo que sugiere un crecimiento urbano; por su parte los cuerpos de agua experimentaron un aumento de 42 hectáreas, con un significativo intercambio de 12 hectáreas con otras clases de uso de suelo pero perdieron 48 hectáreas; en lo que corresponde al uso de cultivos, este aumentó considerablemente con 4,341 hectáreas, pero también tuvo pérdidas de 2,170 hectáreas lo que refleja un proceso de expansión agrícola y conversión de otros tipos de ecosistemas (como selva o pastizales) a tierras de cultivo.

En relación con los pastizales se muestra que hubo un aumento de 996 hectáreas, con pérdidas de 1,285 hectáreas y un alto número de intercambios (2,569 hectáreas), lo que puede reflejar transformaciones de pastizales a cultivos o selva mientras que la selva sufrió grandes pérdidas con 4,433 ha, con un cambio neto de 3,010 hectáreas, lo que indica una importante deforestación o conversión en áreas agrícolas o pastizales. La selva también experimentó intercambios sustanciales de 2,846 hectáreas lo que también

indica que muchas áreas de selva se transformaron en otras clases de uso de suelo.

Las principales pérdidas de cobertura están ocurriendo en las clases de selva y cultivos, con 4,433 hectáreas y 2,170 hectáreas respectivamente, lo que sugiere un cambio importante en la cobertura del suelo. Estas pérdidas podrían estar relacionadas con deforestación, expansión urbana o cambios en el uso agrícola. Las pérdidas menores en cuerpo de agua (48 hectáreas) y pastizales (1,285 hectáreas) también son relevantes, ya que indican cambios en estos ecosistemas.

#### **Evaluación del modelo Índice Kappa**

La exactitud general se obtuvo en la Tabla 7 como una primera medida de la precisión de la clasificación para saber del porcentaje de píxeles clasificados correctamente en toda la imagen. Este indicador da una visión general de la precisión del modelo o proceso de clasificación, indicando cuántos de los píxeles han sido correctamente clasificados en relación con el total de píxeles de la imagen obteniendo un valor por arriba del 70%.

**Tabla 7.** Estimación de la exactitud general de la clasificación.

CLASE DE USO DE SUELO	ASENTAMIENTOS	CUERPOS DE AGUA	CULTIVOS	PASTIZALES	SELVA	TOTAL	EXACTITUD DE USUARIO
Asentamientos	8	0	1	0	0	9	0.92
Cuerpos de agua	2	26	0	0	0	28	0.92
Cultivos	0	1	66	12	11	90	0.74
Pastizales	0	0	19	60	19	98	0.61
Selva	0	0	16	7	52	76	0.69
Total	10	27	102	79	82	300	
Exactitud del productor	0.80	0.97	0.65	0.76	0.63		0.706

Por consiguiente, el cálculo del índice Kappa obtenido de acuerdo con los valores de la Tabla 8, nos arrojó un valor de 0.60. Esto indica que existe un

nivel de acuerdo entre moderado a bueno de los resultados de la clasificación.

**Tabla 8.** Cálculo del índice Kappa

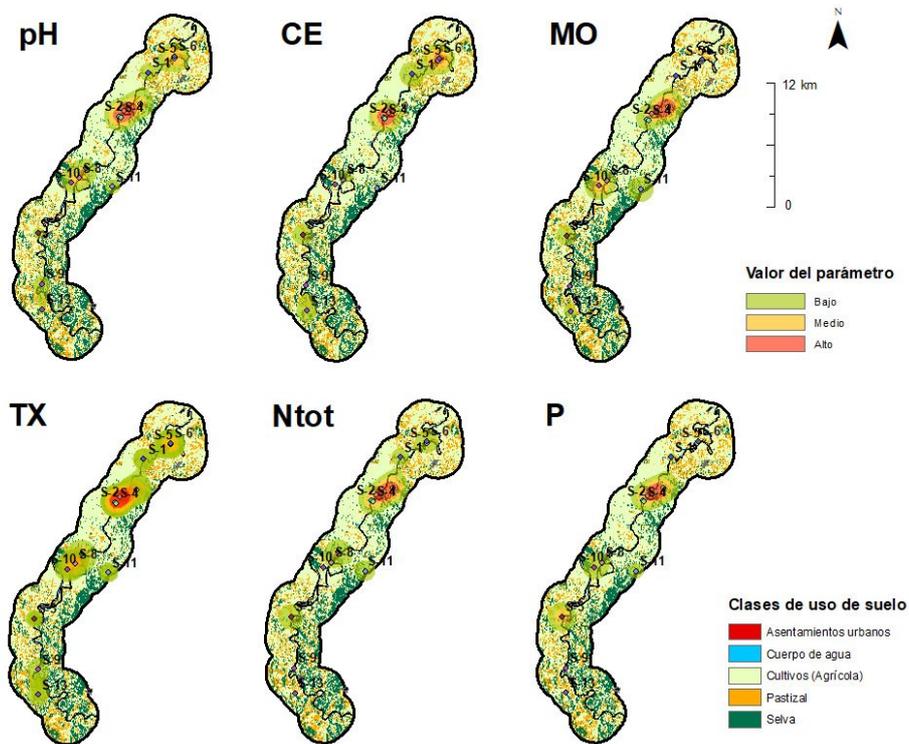
PARÁMETRO	VALOR OBTENIDO
n	300
$n^2$	90,000
Po	0.706
Pc	0.266
Kappa índice	0.60

Relación entre los parámetros de calidad del suelo y los cambios de usos del suelo

La Figura 6 muestra la asociación de los parámetros de calidad del suelo con los cambios de uso de suelo

es un aspecto fundamental para comprender cómo las actividades antropogénicas afectan la salud y fertilidad de los suelos en diferentes ecosistemas.

**Figura 6:** Parámetros fisicoquímicos en relación con las coberturas y usos de suelo.



**Fuente:** elaboración propia

El pH del suelo es un parámetro fundamental que refleja la acidez o alcalinidad del suelo, en la subcuenca del río Puxcatán, se observó que los suelos de pastizales y cultivos tienen un pH neutro (7.0), lo cual es ideal para la mayoría de las plantas y es adecuado para las prácticas agrícolas (cultivos). Sin embargo, la deforestación de áreas de vegetación arbórea como la selva para convertirlas en cultivos o pastizales con pérdidas de 4,433 hectáreas puede modificar este valor, haciendo que el suelo se vuelva más ácido. Esto ocurre porque la actividad agrícola, junto con la pérdida de materia orgánica (que actúa como amortiguador del pH), puede aumentar la acidez del suelo, afectando la solubilidad de los nutrientes y la salud del ecosistema. En este sentido, el cambio de selva a cultivos o pastizales podría contribuir a la acidificación del suelo. En el municipio de Tacotalpa, los suelos de selva son naturalmente más ácidos, lo que favorece la disponibilidad de algunos micronutrientes. Sin embargo, los suelos de cultivos y pastizales son más aptos para la agricultura, pero pueden requerir ajustes si se vuelven más ácidos con el tiempo debido a la actividad intensiva.

La Conductividad Eléctrica (CE) es el parámetro indicativo de la salinidad del suelo. En los pastizales y cultivos, los valores de CE fueron moderadamente bajos (0.797 dS/m y 0.609 dS/m, respectivamente), lo que sugiere que la salinidad no limita la absorción de agua y nutrientes. Sin embargo, la selva, con un valor más alto de 1.5 dS/m, indica una mayor salinidad, aunque dentro de rangos aceptables para los ecosistemas naturales. El cambio de 4,433 hectáreas de uso del suelo de selva a cultivos podría afectar la capacidad de los suelos para mantener niveles adecuados de salinidad, lo que a su vez influiría en la productividad agrícola. En zonas con suelos más salinos, se pueden observar menores rendimientos en cultivos, lo que resalta la importancia de considerar la salinidad al hacer transiciones de uso del suelo.

La Materia Orgánica (MO) es clave para la retención de nutrientes y agua en el suelo. Los suelos de selva tienen un contenido más alto de materia orgánica (6%), lo que contribuye a una mayor fertilidad natural y capacidad para sustentar la biodiversidad. En contraste, los pastizales y cultivos presentan una baja cantidad de materia orgánica (alrededor del 2%), lo que puede indicar suelos con menor capacidad para retener nutrientes y agua. La pérdida de selva para dar paso a cultivos o pastizales reduce el contenido de materia orgánica en el suelo, lo que afecta la capacidad de los ecosistemas para

sostener la producción agrícola y la biodiversidad a largo plazo.

La textura del suelo (medida en proporción de arcilla, arena y limo) también está relacionada con su capacidad para retener agua y nutrientes. Los suelos de pastizales tienen una textura franco-arcillosa, lo que les da un buen equilibrio entre drenaje y retención de agua. Los cultivos, con una textura más franco-arcillosa, son ideales para la agricultura, aunque su capacidad para absorber agua puede verse afectada si no se manejan adecuadamente. La selva, con una textura limosa, favorece la retención de agua sin una excesiva compactación, lo que contribuye al desarrollo de una vegetación densa y rica en biodiversidad. Los cambios de uso de suelo de las 4,433 hectáreas de selva a cultivos o pastizales pueden alterar esta capacidad de retención de agua, lo que impacta la salud del suelo y la productividad agrícola.

Los niveles de Fósforo (P) y Nitrógeno Total (Ntot) en los suelos de pastizales y selva son bastante altos, lo que refleja la capacidad de estos suelos para soportar una alta productividad biológica. Sin embargo, los suelos de cultivos muestran una menor concentración de fósforo, lo que sugiere que, para asegurar un buen rendimiento agrícola, podrían necesitar suplementos de fósforo. En cuanto a los contenidos de nitrógeno, los suelos de selva tienen mayores niveles (0.092 mg/kg), lo que favorece el crecimiento de las plantas en estos ecosistemas. En cambio, los suelos de pastizales y cultivos tienen concentraciones más bajas de nitrógeno, lo que podría limitar la producción agrícola y la productividad de los pastizales.

### ***Matriz de relación causa y efecto de los cambios de usos de suelo y los parámetros de calidad del suelo***

Los resultados de la matriz de causa y efecto de la tabla 9 permitió identificar cómo los cambios de uso de suelo (como la conversión de selvas a áreas agrícolas) y las actividades antropogénicas (como la ganadería y el uso de productos químicos) influyen en los parámetros fisicoquímicos del suelo. Los efectos de estas interacciones son cruciales para la sostenibilidad de la agricultura y la conservación del medio ambiente, ya que alteran la fertilidad del suelo, la retención de nutrientes y agua, y la calidad general del suelo. Identificar estas relaciones ayuda a diseñar prácticas agrícolas y de uso del suelo más sostenibles que minimicen los impactos negativos sobre la calidad del suelo.

**Tabla 9.** Matriz de relación causa y efecto de los cambios de usos de suelo sobre los parámetros fisicoquímicos del suelo.

FACTOR	CAUSA (CAMBIO DE USO DE SUELO)	EFECTO SOBRE LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DEL SUELO
Cultivos	Agricultura intensiva	La disminución de la materia orgánica y el aumento de la acidez (baja en pH) son procesos que contribuyen a la degradación del suelo. Este deterioro hace que el suelo se vuelva menos capaz de sustentar una vegetación saludable. En particular, en los suelos convertidos a cultivos o pastizales, la pérdida de materia orgánica provoca un aumento de la acidez, lo que disminuye la capacidad del suelo para amortiguar el pH.
Pastizales	Ganadería extensiva	El pastoreo excesivo y el manejo inadecuado del estiércol reducen la materia orgánica en el suelo, afectando su estructura y capacidad de retención de agua. Además, la ganadería intensiva y las prácticas agrícolas pueden compactar el suelo, alterando su textura y drenaje, lo que desequilibra los nutrientes y dificulta el crecimiento saludable de las plantas. La mala gestión de estiércol y desechos ganaderos aumenta la salinidad del suelo, contamina el agua y provoca desequilibrios de nutrientes. El uso irracional de pesticidas también degrada la calidad del suelo, afectando su capacidad para retener agua y nutrientes y reduciendo la productividad agrícola.
Asentamientos urbanos	Urbanización	La urbanización altera los parámetros fisicoquímicos del suelo de diversas maneras. La pavimentación y construcción de viviendas reducen la materia orgánica y compactan el suelo, afectando su capacidad de retención de agua y nutrientes.
Cultivos	Uso de fertilizantes, pesticidas, herbicidas y garrapaticidas	El uso intensivo de fertilizantes, pesticidas y productos químicos en la agricultura y ganadería afecta la calidad del suelo al alterar su pH, aumentar su acidez y reducir la biodiversidad. El exceso de fertilizantes eleva los niveles de fósforo y contenido de nitrógeno, lo que contribuye a la contaminación del agua y a la eutrofización. Además, estos productos incrementan la salinidad del suelo, afectando su capacidad de retención de agua y reduciendo su fertilidad. La conversión de selvas en áreas agrícolas también disminuye la materia orgánica del suelo, lo que reduce su capacidad para retener nutrientes y agua, afectando la productividad agrícola a largo plazo.
Agua	Contaminación	La liberación de productos químicos al medio ambiente, como pesticidas y detergentes, puede contaminar las fuentes de agua cercanas, afectando tanto la calidad del agua subterránea como superficial. Esta contaminación repercute negativamente en los ecosistemas acuáticos y en la agricultura, afectando la fertilidad del suelo.
Habitantes	Hábitos de consumo	Las actividades antropogénicas afectan directamente la gestión de los recursos y el uso del suelo, provocando cambios en la calidad del suelo, como alteraciones en parámetros como el pH, los niveles de materia orgánica y nutrientes. Además, el uso masivo de detergentes, especialmente en polvo, contribuye a la contaminación de fuentes de agua cercanas, lo que afecta indirectamente la calidad del suelo al modificar la composición y fertilidad del agua utilizada tanto en la agricultura como en los ecosistemas acuáticos.

FACTOR	CAUSA (CAMBIO DE USO DE SUELO)	EFEECTO SOBRE LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DEL SUELO
Selva (vegetación arbórea)	Deforestación	La deforestación y la conversión de la selva en áreas agrícolas (cultivos o pastizales) tienden a acidificar el suelo debido a la pérdida de materia orgánica, lo que disminuye su capacidad de amortiguar las fluctuaciones del pH. Esta acidez afecta la solubilidad de nutrientes y la salud del ecosistema. Además, la deforestación puede alterar la dinámica del agua y las sales en el suelo, generando un aumento de la salinidad, especialmente cuando la vegetación de selva se sustituye por cultivos intensivos. Como resultado, los niveles de salinidad afectan la capacidad de las plantas para absorber agua y nutrientes. El cambio de la selva a áreas agrícolas también puede modificar la textura del suelo: mientras que el suelo forestal tiene una textura natural que favorece la retención de agua, los suelos agrícolas tienden a volverse más compactos y menos permeables con el tiempo.
Suelo	Erosión	La conversión de selvas a suelos agrícolas provoca una reducción significativa de la materia orgánica, afectando la fertilidad del suelo y su capacidad de retener nutrientes. Además, los cambios de uso de suelo pueden modificar la textura del suelo, especialmente al transformar áreas forestales en cultivos, lo que altera la capacidad de retención de agua. Esta conversión también puede alterar las concentraciones de nutrientes como el fósforo y nitrógeno. En suelos con vegetación arbórea (selva), los nutrientes están en equilibrio, pero la agricultura puede agotarlos o, en algunos casos, generar acumulación excesiva, lo que afecta la salud del suelo. Además, el uso de fertilizantes en la agricultura puede incrementar los niveles de fósforo y nitrógeno en el suelo, lo que, si se excede, puede causar problemas como la contaminación de aguas subterráneas y superficiales, así como contribuir a la eutrofización de los cuerpos de agua cercanos.

### ***Influencia de las actividades antropogénicas***

Las actividades antropogénicas que se desarrollan en las localidades de Madero 2<sup>a</sup>, Raya Zaragoza, Pasamonos, Pomoca, Castañal, Guayal y Puxcatán, asentadas sobre la subcuenca del río Puxcatán tienen un impacto directo en el cambio de usos de suelo y por ende en la calidad del suelo. La mayoría de los entrevistados en la comunidad manifestaron tener más de 10 años viviendo en la localidad, lo que refleja un conocimiento profundo del territorio y por lo tanto las respuestas reflejan prácticas y hábitos productivos que han sido aprendidos y adoptados con el tiempo. Esto también implica que los hábitos de consumo y producción podrían haberse establecido como tradiciones locales, por lo tanto, tener un impacto acumulativo en la sostenibilidad del suelo.

La composición familiar fue de 3 a 5 personas por hogar, lo que indica que las familias no son excesivamente grandes, en áreas rurales donde hay más actividad agropecuaria, el número de personas en el

hogar puede influir en la cantidad de mano de obra disponible para las actividades agrícolas o ganaderas, lo que puede a su vez afectar la intensidad de estas actividades y su impacto en el uso del suelo.

Entre el 12% y 23% de los entrevistados se dedican a actividades ganaderas, este porcentaje es relativamente bajo, aún refleja una práctica compungidlas en la comunidad. El uso de productos químicos para el cuidado del ganado podría tener implicaciones en el uso químicos en el ecosistema. El uso de pesticidas y garrapaticidas puede afectar la salud del suelo y la biodiversidad local. El uso de químicos en los sistemas agropecuarios aumenta el riesgo de contaminación del agua y del suelo, afectando negativamente su calidad y potencial agroecológico a largo plazo. Además, el uso excesivo de estos productos podría influir en la resistencia de plagas y enfermedades, lo que podría generar un ciclo de dependencia de productos químicos para mantener la salud del ganado.

El hecho de que muchos de los entrevistados tengan infraestructura ganadera (chiquero, corral, galera de crianza) sugiere que la ganadería puede ser una de las actividades productivas más relevantes en la región. La existencia de corrales y galeras indica que las personas pueden estar manejando el ganado de forma organizada, pero si no se gestionan adecuadamente los residuos como el estiércol y desechos, estos desechos traen impactos negativos sobre el suelo, como aumentar la salinidad del suelo, emitir gases contaminantes a la atmósfera, contaminar el agua y provocar desequilibrios de nutrientes.

El uso de productos de limpieza es del 100% el detergente que más utilizan es en polvo y más del 90% de la población utiliza al menos 500 g de detergente semanal. El consumo excesivo de detergentes puede tener implicaciones ambientales, podrían contribuir a la contaminación de fuentes de agua cercanas, afectando la calidad del agua subterránea y superficial que es clave para la agricultura, lo que afecta la biodiversidad y la salud de los ecosistemas acuáticos.

Por ende, la relación entre el uso del suelo y la producción agropecuaria son un factor clave para la calidad y salud del suelo. Las actividades ganaderas

representan una porción significativa de las actividades productivas de las localidades, lo que puede llevar a la degradación del suelo a la sobrecarga de nutrientes por el estiércol, el pastoreo excesivo o el uso irracional de pesticidas. Estos factores tienen un impacto directo en la calidad del suelo, alterando su estructura, su capacidad de retener agua y su biodiversidad. El desperdicio de productos químicos y su liberación al medio ambiente puede generar contaminantes y afectar la fertilidad del suelo a largo plazo.

Finalmente, El uso de productos químicos, como pesticidas y garrapaticidas, también es una preocupación, ya que su aplicación en la ganadería y agricultura puede afectar la calidad del suelo, alterando su estructura, composición y biodiversidad. El uso excesivo de estos productos puede generar ciclos de dependencia y contaminación, afectando la fertilidad del suelo a largo plazo y generando impactos negativos en los ecosistemas acuáticos debido a la contaminación del agua. Además, el uso de detergentes, que es común en la región, también contribuye a la contaminación de las fuentes de agua, lo que afecta indirectamente la calidad del suelo y los ecosistemas acuáticos.

## CONCLUSIONES

El presente trabajo pretende aportar información clave para identificar la calidad del suelo por efecto de los cambios de usos de suelo inducidas por las actividades antropogénicas y sugerir medidas para mitigar la degradación de su calidad. Dado que la degradación del suelo es compleja y no puede evaluarse mediante una sola medición, es necesario utilizar indicadores específicos que ayuden a identificar si la degradación ha ocurrido o está ocurriendo. Los análisis fisicoquímicos realizados en los suelos de la subcuenca del río Puxcatán, en Tacotalpa, Tabasco, revelaron diferencias claras entre los ecosistemas de selva, pastizal y cultivos. Los suelos de selva, con mayor contenido de materia orgánica, fósforo y nitrógeno, presentan alta fertilidad natural, mientras que los suelos de pastizales y cultivos tienen menores niveles de estos nutrientes, lo que sugiere la necesidad de manejos adecuados para optimizar su sostenibilidad.

Los resultados obtenidos mediante análisis fisicoquímicos, teledetección y entrevistas a la población local han permitido comprender cómo las actividades antropogénicas, como la expansión de cultivos y la deforestación, afectan la calidad y sostenibilidad de los suelos en la subcuenca del río Puxcatán. La conversión de la selva a cultivos o pastizales ha alterado varios parámetros del suelo, como el pH, la materia orgánica y la salinidad, lo que puede comprometer la capacidad de los suelos para mantener la producción agrícola a largo plazo.

La ganadería tiene un impacto directo sobre el uso del suelo, afectando su calidad debido al manejo de animales y productos utilizados. Aunque los residuos de productos de limpieza no impactan inmediatamente la producción agropecuaria, pueden tener efectos a largo plazo sobre los cuerpos de agua y el suelo. Para comprender mejor cómo estos factores interactúan, es necesario analizar en detalle las prácticas de manejo ganadero y promover estrategias sostenibles de manejo y educación ambiental.

Entre 2006 y 2023, los cambios en el uso del suelo muestran un fuerte crecimiento de cultivos y pastizales con una pérdida significativa de vegetación arbórea, relacionado con la deforestación y expansión agrícola. Las áreas de cuerpos de agua han mostrado pocos cambios, y los asentamientos han crecido moderadamente. Los intercambios entre las clases de uso del suelo reflejan dinámicas complejas y el impacto de las actividades humanas.

El uso del suelo y las actividades antropogénicas, como la deforestación, el uso de productos químicos y la gestión inadecuada de residuos, afectan directamente los parámetros de calidad del suelo, alterando su estructura, capacidad de retención de agua y nutrientes, y biodiversidad. Para mitigar los efectos negativos, es crucial promover prácticas agroecológicas que incluyan manejo sostenible de los recursos naturales, reducción de químicos en la agricultura y ganadería, y correcta gestión de residuos, lo que contribuirá a la protección a largo plazo del suelo y los ecosistemas.

En conclusión, la conversión de la selva en pastizales o áreas agrícolas altera el pH del suelo, haciéndolo más ácido debido a la pérdida de materia orgánica que actúa como amortiguador. Aunque los suelos de pastizales y cultivos son generalmente más aptos para la agricultura con pH neutro, la deforestación y las prácticas intensivas pueden aumentar la acidez con el tiempo, lo que afectaría la disponibilidad de nutrientes. Para evitar este problema, se pueden implementar medidas correctivas, como el uso de enmiendas calizas o prácticas sostenibles de manejo del suelo.

Para mejorar las prácticas que afectan la calidad del suelo y promover una gestión más sostenible, se pueden implementar diversas estrategias que abarcan desde prácticas agrícolas y ganaderas más responsables hasta la restauración de ecosistemas de tal forma de garantizar la sostenibilidad, salud ambiental y social.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT) y a El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR) por el apoyo brindado durante la formación de posgrado y la realización de la

tesis titulada “Influencia de los asentamientos humanos en el cambio de uso de suelo en la subcuenca río Puxcatán, Tacotalpa, Tabasco”, de la cual forma parte el presente trabajo. Por otro lado, se reconoce al Mtro. Jesús Manuel Asencio Rivera por el apoyo y el trabajo realizado para la formación de dicha tesis.

---

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Altman, D.G. (1991). *Practical statistics for medical research*. New York: Chapman and Hall.
- Arango C. L. I. (2021). *Trade offs y sinergias de servicios ecosistémicos potenciales con base en cambios de coberturas vegetales* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia).
- Bai, Z. G., et al. (2008). Land degradation and land use change: Impact on the environment and food security. *Agricultural Systems*, 98(1), 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2008.05.004>
- Béné, C., y Friend, R. (2003). Development, Poverty, and Human Security: A Critical Review of the Impact of Ecosystem Changes. *Environmental Science & Policy*, 6(2), 157-169.
- Burbano Orjuela, H. (2017). La calidad y salud del suelo influyen sobre la naturaleza y la sociedad. *Tendencias*, 18(1), 118-126.
- Cohen, J. (1960). A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and Psychological Measurement*, 20,37-46. <https://doi.org/10.1177/001316466002000104>
- Correa Caicedo, Ó. (2020). Transformación de usos del suelo, más devastadora que el cambio climático. <http://hdl.handle.net/10784/17122>
- De la Fuente EB, Suárez SA (2008) Problemas ambientales asociados a la actividad humana: la agricultura. *Ecología Austral* 18: 139-252.
- Duarte, C., Alonso, S., Benito, G., Dachs, J., Montes, C., Pardo Buendía, M., y Valladares, F. (2006). *Cambio global. Impacto de la actividad humana sobre el sistema Tierra*. Madrid: CSIC.

- Foley JA, Defries R, Asner GP, Barford C, Bonan G, Carpenter SR, et al. (2005) Global consequences of land use. *Science* 309: 570–574.
- Foley, J. A., et al. (2011). Solutions for a cultivated planet. *Nature*, 478(7369), 337–342. <https://doi.org/10.1038/nature10452>
- Francisco Vic, M. K., Fanin, I., y Muñoz, V. E. O. (2016). La economía social: Herramientas de medición para analizar su impacto en el territorio. *Informes Científicos Técnicos-UNPA*, 8(3), 27–55.
- García, F. F. (2007). Impactos del cambio climático en las áreas urbanas y rurales. *Boletín de la Institución Libre de Enseñanza*, 66, 171–182.
- Goudie A (2013) *The human impact on the natural environment. Past, present and future*. Séptima edición. Wiley Blackwell and sons. Oxford, UK. 424p.
- Houghton, R. A. (2003). The contemporary carbon cycle. In: *The Global Carbon Cycle* (pp. 473–490). Springer, Berlin, Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-18911-1\\_27](https://doi.org/10.1007/978-3-642-18911-1_27)
- Ingaramo, O. E. (2003). Indicadores físicos de la degradación de suelo.
- Ipinza, R., Barros, S., De la Maza, C. L., Jofré, P., y González, J. (2021). Bosques y Biodiversidad. *Ciencia e Investigación Forestal*, 101–132.
- Lal, R. (2001). Soil degradation by erosion. *Land Degradation & Development*, 12(6), 519–539. <https://doi.org/10.1002/ldr.472>
- Martínez, E., Fuentes, J. P., y Acevedo, E. (2008). Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*, 8(1), 68–96. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-27912008000100006>
- Mieles-Giler, J. W., Guerrero-Calero, J. M., Moran-González, M. R., y Zapata-Velasco, M. L. (2024). Evaluación de la degradación ambiental en hábitats Naturales. *Journal of Economic and Social Science Research*, 4(3), 65–88.
- Molina, P. G. (2019). Impacto ambiental en las actividades humanas. UF0735. Tutor Formación.
- Montes, C., y Sala, O. (2007). La Evaluación de los Ecosistemas del Milenio. Las relaciones entre el funcionamiento de los ecosistemas y el bienestar humano. *Ecosistemas*, 16(3).
- Otavo, S., y Echeverría, C. (2017). Fragmentación progresiva y pérdida de hábitat de bosques naturales en uno de los hotspot mundiales de biodiversidad. *Revista mexicana de biodiversidad*, 88(4), 924–935. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2017.10.0411>
- Paegelow, M., Camacho, M. T., y Menor, J. (2003). Cadenas de Markov, evaluación multicriterio y evaluación multiobjetivo para la modelización prospectiva del paisaje. *GeoFocus*. Obtenido de <https://www.geofocus.org/index.php/geofocus/article/view/21>.
- Pimentel, D., et al. (1995). Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. *Science*, 267(5201), 1117–1123. <https://doi.org/10.1126/science.267.5201.1117>
- Postigo, J. C. (2013). Cambio climático, movimientos sociales y políticas públicas: una vinculación necesaria.
- Quiroga Martínez, R. (2007). Indicadores ambientales y de desarrollo sostenible: avances y perspectivas para América Latina y el Caribe. *Cepal*. <https://hdl.handle.net/11362/5498>
- Ramos, M. M., y Orth, X. G. (2007). Sucesión ecológica y restauración de las selvas húmedas. *Boletín de la sociedad Botánica de México*, (80), 69–84.
- Sala, O. E., et al. (2000). Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science*, 287(5459), 1770–1774. <https://doi.org/10.1126/science.287.5459.1770>
- Scherr, S. J., & Hazell, P. B. (2003). Strategies for sustainable land management in the developing world. *World Development*, 31(5), 803–821. [https://doi.org/10.1016/S0305-750X\(03\)00011-5](https://doi.org/10.1016/S0305-750X(03)00011-5)
- Van Lynden, G.W.J. y L.R. Oldeman. 1997. Assessment of the human-induced soil degradation in South and Southeast Asia. International Soil Reference and Information Centre. Wageningen, The Netherlands.
- Zamora, M., Barbera, A., Carrasco, N., y Malaspina, M. (2017). Agroecología a gran escala: Productividad, costos directos y márgenes comparadas con un modelo de agricultura industrial en el centro-sur de Buenos Aires. *Chacra Experimental Integrada de Barrow (convenio INTA-MAIBA). SOCLA*.